

УДК 621.317

І.В. Коробійчук, аспір.

Житомирський державний технологічний університет

**МОДЕЛЮВАННЯ НОВОГО ДВОКІЛЬЦЕВОГО ДИНАМІЧНО
НАСТРОЮВАНОВОГО ГРАВІМЕТРА НА ЦОМ***(Представлено д.т.н., проф. Безвесільною О.М.)*

Найбільш перспективними гравіметрами, які працюють у складі авіаційної гравіметричної системи, є гіроскопічні. В роботі проведено дослідження на ЦОМ поведінки нового двокільцевого динамічно настроюваного гравіметра і визначено його реакцію на зовнішні впливи для різних значень власних параметрів і параметрів збурювань. Які підтвердили правильність висновків, зроблених при аналітичних дослідженнях поведінки ДГ. Найбільш несприятливим є випадок збігу частоти збурювання з частотою власних коливань і частотою обертання ротора.

Постановка проблеми. Математичне моделювання динаміки нового двокільцевого динамічно настроюваного гравіметра (ДГ) дозволяє значно зменшити обсяг відповідних макетних випробувань, вирішити такі проектні задачі, як аналіз функціонування ДГ і їхніх елементів, дослідження параметричної стабільності характеристик, оцінка динамічних помилок і відходів ДГ при відтворенні реальних умов їхньої експлуатації. Основна вимога при проведенні моделювання – найбільш повна і точна відповідність використаної при розрахунках математичної моделі майбутній реальній конструкції.

За допомогою авіаційної гравіметричної системи (АГС) можна здобути гравіметричну інформацію у важкодоступних районах земної кулі набагато швидше та з меншими витратами, ніж за допомогою наземних або морських засобів. Але зростаючі вимоги до точності вимірювання гравітаційних аномалій, зменшення габаритів та ваги гравіметра АГС націлюють на пошук більш точних гравіметрів, які мають ще менші габарити та вагу.

Тому актуальним є дослідження двокільцевого динамічно настроюваного гравіметра, який має менші габарити, ніж гіроскопічний вимірювач прискорень (ГВП), а точність більшу, ніж у ГВП та однокільцевого динамічно настроюваного гравіметра.

Аналіз досліджень. Ефективність роботи АГС значною мірою забезпечується вибором чутливого елемента системи – гравіметра. Сьогодні одними з найперспективніших вважаються гіроскопічні гравіметри.

В роботах [1] Безвесільної О.М. досліджено можливість і доцільність використання як гравіметра АГС гіроскопічного вимірювача прискорень. Похибка вимірювання Δg АГС на базі гірогравіметра була [1] 1 мГл. У роботах Безвесільної О.М. і Литвиненко П.Л. обґрунтовано доцільність використання як гравіметра АГС однокільцевого динамічно настроюваного гіроскопа (ДНГ), похибка вимірювання Δg АГС була 1 мГл.

У роботах [2, 3] обґрунтовано, що двокільцевий ДНГ має значно більшу точність та швидкодію, ніж однокільцевий. Тому надалі доцільно дослідити можливість використання як гравіметра авіаційної гравіметричної системи модифікованого двокільцевого ДНГ як найбільш перспективного з відомих авіаційних гравіметрів. Але в літературі [3–7] немає ніяких відомостей щодо математичного моделювання двокільцевого динамічно настроюваного гравіметра на ЦОМ, що дасть можливість оцінити достовірність аналітичних даних та порівняти результат з макетними випробуванням.

Метою роботи є дослідження поведінки нового двокільцевого динамічно настроюваного гравіметра за допомогою ЦОМ при впливі на нього збурюючих факторів різного характеру і виявлення найбільш несприятливих режимів його роботи.

Основна частина. Похибки можуть бути значною мірою знижені шляхом коректної методики моделювання на ЦОМ, що містить у собі такі етапи, як приведення до виду, зручного для моделювання; вибір структурної схеми моделювання й обчислювальних блоків; розрахунок коефіцієнтів передачі операційних підсилювачів і масштабів машинних змінних; установка коефіцієнтів передачі, введення початкових умов, що збурюють впливи і одержання машинних рішень; контроль і оцінка точності машинних рішень.

Етапи моделювання такі:

Приведення до виду, зручного для моделювання на ЦОМ. Незважаючи на широкі можливості сучасних ЦОМ, багато важливих задач моделювання промислових систем і пристроїв не вдається вирішити без попередньої аналітичної підготовки.

Рівняння руху ДГ має вигляд:

$$A\ddot{\alpha} + h_{\alpha}\dot{\alpha} + H\dot{\beta} + M_{DM} + M_{TP}^{\alpha}\text{sign}\dot{\alpha} = M_{\alpha},$$

$$B\ddot{\beta} + h_{\beta}\dot{\beta} - H\dot{\alpha} + M_{TP}^{\beta}\text{sign}\dot{\beta} = \mu W(t),$$
(1)

де A – загальний момент ротора внутрішнього і зовнішнього кільця; B – зальний момент інерції ротора і внутрішнього кільця відносно осі внутрішнього кільця; α – кут обертання ДГ відносно осі зовнішнього кільця; β – кут повороту ротора і внутрішнього кільця відносно осі внутрішнього кільця; $h_{\alpha}, h_{\beta}, M_{TP}^{\alpha}, M_{TP}^{\beta}$ – коефіцієнти моментів в'язкого і сухого тертя відповідно; H – кінетичний момент гіроскопа; M_{DM} – момент від датчика моментів, який формується у відповідності до структурної схеми між рамкової корекції ДГ, яка наведена на рис. 1. На рис. 1 позначено: $W_r(p)$ – передавальна функція гіроскопічного чутливого елемента; $K_{ДУ}$ – коефіцієнт передачі датчика кута прецесії; K_y – коефіцієнт підсилення підсилювача; K_{DM} – коефіцієнт передачі датчика моменту; передавальна функція коректуючої ланки:

$$W_{kk}(p) = \frac{Tp^2 + 2\xi Tp + 1}{(T_1p + 1)(T_2p + 1)};$$

$F(\sigma_1), F(\sigma_3)$ – нелінійні елементи.

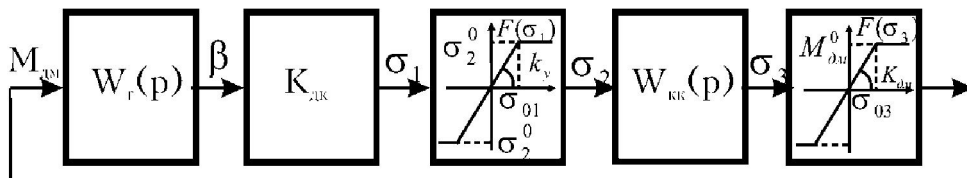


Рис. 1. Структурна схема ДГ

Числові значення параметрів такі:

$$A = 1,92 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad K_{смпк} = 1,01 \cdot 10 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{рад};$$

$$B = 8,82 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad M_{TP}^{\alpha} = 4,90 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$h_{\alpha} = 1,96 \cdot 10^{-4} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}; \quad T = 5 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

$$h_{\beta} = 1,27 \cdot 10^{-6} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}; \quad T_1 = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ с};$$

$$H = 3,92 \cdot 10^{-2} \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}; \quad T_2 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ с};$$

$$Pl_{\max} = 0,016 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad \xi^2 = 5 \cdot 10^{-2};$$

$$M_{DM} = 5,88 \cdot 10^{-3} \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad W = 10 \text{ г}.$$

Будемо вважати, що машинні розв'язання системи (1) потрібно одержати з точністю не гірше 3 % протягом часу $t > 2$ хв.

Максимальні значення змінних такі: $|\beta|_{\max} \leq 3^{\circ}; |\alpha_1|_{\max} \leq 1^{\circ}$.

Виконуємо приведення рівнянь до виду, зручного для моделювання. Для цього виконаємо заміну змінної $\alpha(t)$, в зв'язку з тим, що діапазон реальної зміни кута $\alpha(t)$ значно перевищує діапазон зміни машинної змінної ЦОМ. Застосувавши заміну змінних:

$$\dot{\alpha} = -\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1, \text{ де } \dot{\alpha}_0 = \frac{\mu}{H} W(t),$$

замість рівнянь (1) отримаємо:

$$A\ddot{\alpha}_1 + h_{\alpha}\dot{\alpha}_1 + H\dot{\beta} + M_{DM} + M_{TP}^{\alpha}\text{sign}(-\dot{\alpha}_0 + \dot{\alpha}_1) = M_{\alpha} + A\ddot{\alpha}_0 + h_{\alpha}\dot{\alpha}_0;$$

$$B\ddot{\beta} + h_{\beta}\dot{\beta} - H\dot{\alpha}_1 + M_{TP}^{\beta}\text{sign}\dot{\beta} = 0,$$
(2)

де змінна α_1 з достатньою точністю відтворюється на ЦОМ, оскільки $|\alpha_1| \ll |\alpha_0|$, $A\ddot{\alpha}_0, h_{\alpha}\dot{\alpha}_0$ задаються як відомі функції часу. Позначимо праву частину першого рівняння в (2) через

$$M_{\Sigma}(t) = M_{\alpha}(t) + A\ddot{\alpha}_0(t) + h_{\alpha}\dot{\alpha}_0(t).$$

Вибір структурної схеми моделювання. При дослідженні ДГ на ЦОМ важливою умовою, що забезпечує "обчислювальну" стійкість і необхідну точність машинних рішень, є коректний вибір структурної схеми моделювання і блоків, що в ній використовуються.

Структурна схема моделювання, що відповідає рівнянням (2) і побудована на суматорах, наведена на рис. 2., причому знакоінвертори M_{DM} , M_{TP}^β на схемі не показані. На цій схемі введені наступні позначення операційних підсилювачів:

1,4 – суматор на інерційній ланці, передатна функція такого суматора має вигляд [8, с. 69, 70]:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n K_i}{Tp + 1};$$

2 – масштабний перетворювач; 3 – інтегратор;

5,6,7,8 – нелінійний блок, що відтворює момент датчика моменту та сил сухого тертя.

Блоки 2, 3, 5, 6, 7 є звичайними елементами ЦОМ і детально описані у відповідній літературі [9].

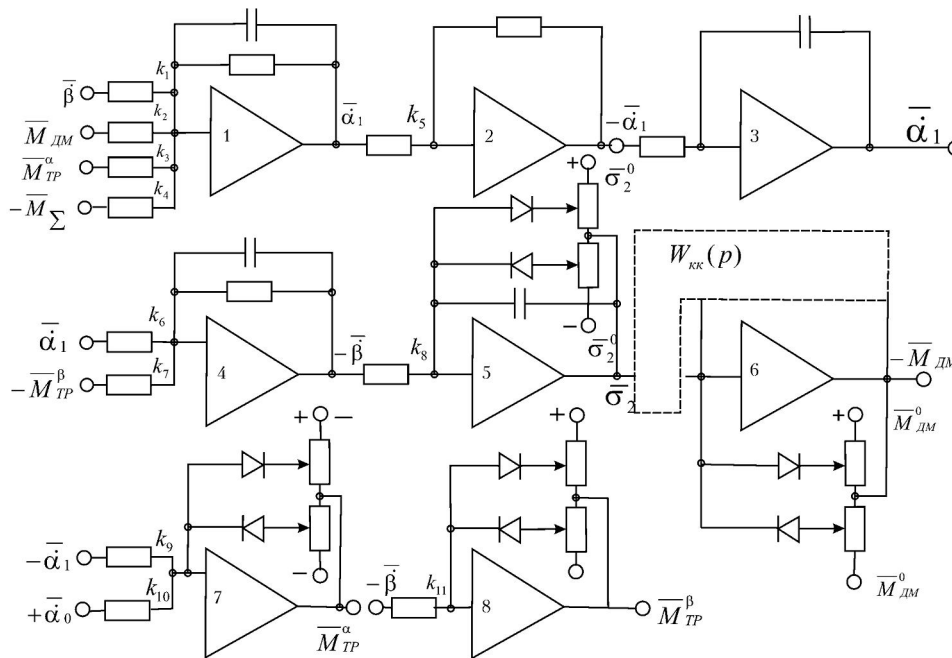


Рис. 2. Структурна схема моделювання системи рівнянь (1)

Розрахунок коефіцієнтів передачі операційних підсилювачів. З умов еквівалентності вихідних і машинних рівнянь обираємо число невідомих коефіцієнтів операційних підсилювачів і масштабів перевищує число рівнянь, тому вибір надлишкових величин варто підкорити умовам одержання точних і стійких машинних рішень.

Рівняння зв'язків мають вигляд нерівностей:

$$U_{\min} \leq y_i \leq U_{\max}, \quad i = \overline{1, n}; \quad m_{j_{\min}} < m_j < m_{j_{\max}}, \quad j = \overline{1, N}.$$

$$k_{l_{\min}} < k_l < k_{l_{\max}}, \quad l = \overline{1, M},$$

де U_{\min} , U_{\max} , m_{\min} , m_{\max} , k_{\min} , k_{\max} – мінімальне і максимальне значення машинної змінної y_i масштабів і коефіцієнтів передачі операційних підсилювачів.

Таким чином, розрахунок коефіцієнтів передачі і масштабів для цієї схеми моделювання виконуємо за наступними формулами:

$$k_1 m_\gamma / m_\alpha = 1; \quad k_2 m_{M_{cr}} / m_\alpha = K_{cc} / c; \quad k_3 \overline{M}_{TP} / m_\alpha = M_{TP} / c; \quad k_4 \overline{M}_\alpha / m_\alpha = M_\alpha / c;$$

$$k_5 \overline{\theta}_{\max} / m_\alpha = i^2 I_{\partial\alpha} \omega^2 \theta_{\max} / c; \quad k_6 \overline{\theta}_{\max} / m_\alpha = i^2 k \Omega \omega \theta_{\max} / c; \quad k_{12} m_\alpha / m_\gamma = 1; \quad k_{13} m_\beta / m_\gamma = H / C;$$

$$k_9 m_\gamma / m_\beta = H / B; \quad k_{10} m_\beta / m_\beta = h_2 / B; \quad \frac{k_{11} \int \overline{M}_\beta dt}{m_\beta} = \frac{\int M_\beta dt}{B}; \quad k_{19} m_\beta / m_\beta = 1;$$

$$k_{14}m_{\beta} / m_{M_{CT}} = 1; k_{15}m_{\dot{\beta}} / m_{M_{CT}} = T; k_{16} = 1; k_{17}m_{\dot{\theta}} / m_{\dot{\alpha}} = 1; k_{18} = 1; \tau_1 = \sqrt{R_{0C1}R_{0C1}C_{0C1}C_{01}};$$

$$2\xi\tau_1 = R_{01}C_{0C1} \left(1 + \frac{R_{0C1}}{R01} + \sum_{i=1}^6 k_i \right); \tau_2 = \sqrt{R_{0C2}R_{0C2}C_{0C2}C_{02}};$$

$$2\xi\tau_2 = R_{02}C_{0C2} \left(1 + \frac{R_{0C2}}{R02} + k_7 + k_8 \right); T = C_{0C3}R_{0C3}.$$

При значеннях масштабів $m_{\alpha} = 50$ В/град.; $m_{\beta} = 30$ В/град.; $m_t = 100$; $m_{\omega} = 2$ В/(1г), розраховуються числові значення коефіцієнтів передачі операційних підсилювачів. Машинні розв'язання рівнянь (2) при $\theta_{\max} = 5^{\circ}$, $\omega = 7c^{-1}$, $M_{\alpha} = 0$ наведені на рис. 3.

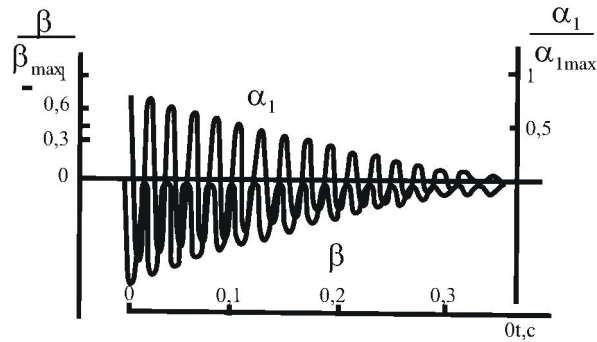


Рис. 3. Машинні рішення рівнянь (2)

Контроль машинних розв'язків. При дослідженні ДГ на ЦОМ неминучі похибки в машинних розв'язках через суб'єктивні помилки оператора, збоїв машини тощо. Щодо цього важливого значення набуває контроль машинних розв'язань. Спосіб контролю є практично застосовуваним, якщо він дозволяє швидко виявити якісну розбіжність машинного й шуканого розв'язків і джерела цієї розбіжності.

Послідовність операцій контролю дозволяє визначити якісну відповідність машинних розв'язків шуканим, а також виявити такі помилки машинних розв'язків, як неточність набору коефіцієнтів передачі й постійних часу операційних підсилювачів, похибок "малих" параметрів схеми моделювання, дрейфів операційних підсилювачів, суб'єктивних оцінок операторів.

Контроль машинних розв'язків проводиться за перехідними процесами в окремих ланках з послідовним ускладненням схеми й шляхом порівняння ЛЧХ ДГ – розрахункової й знятої з моделі.

Оцінка точності. Контроль, виконаний на попередньому етапі, дозволяє встановити якісний збіг (або розбіжність) машинного і дійсного розв'язків. Оцінка ж точності необхідна для встановлення кількісної міри похибок машинних розв'язків. В [8, с. 84] показано, що похибка машинного розв'язків є найбільшою при знаходженні системи на границі стійкості, а також встановлення зв'язку цієї максимальної похибки з показником стійкості. Тому методика оцінки точності зводиться до виведення математичної моделі на границю стійкості за допомогою якого-небудь із її регульованих параметрів, оцінці похибки в цьому режимі й "перерахуванню" отриманої величини на кожне з машинних розв'язків, отриманих усередині області стійкості.

Оцінка точності зводиться до визначення похибки розв'язків виродженої системи рівнянь (2):

$$A\ddot{\alpha} + c(\alpha - \gamma) = 0;$$

$$B\ddot{\beta} - H\dot{\gamma} = 0;$$

$$D\ddot{\gamma} + H\dot{\beta} + C(\gamma - \alpha) = 0;$$

$$\beta(0) \neq 0; \alpha(0) = \dot{\alpha}(0) = \gamma(0) = \dot{\beta}(0) = \dot{\gamma}(0) = 0.$$

Порівняння наведеного на рис. 3 машинного розв'язку й точного аналітичного розв'язку системи (2) показує, що похибка не перевищує 3%. Помітимо, що з рівнянь (2) та зі схеми моделювання (рис. 2) можна одержати окремі випадки, наприклад якщо припустити $\alpha = \gamma$; $M_{CT} = 0$.

Відповідно до розробленого алгоритму складено програму мовою програмування Delphi. У програмі були прийняті такі змінні:

$$A = \text{coef}[1], \quad B = \text{coef}[2], \quad C = \text{coef}[3],$$

$$D = \text{coef}[4], \quad E = \text{coef}[5], \quad K = \text{coef}[6],$$

$$T = Tvr, \quad \xi = ksi, \quad W(t) = \omega(t) = r[0],$$

$$\alpha = y[0],$$

$$\dot{\alpha} = y[1],$$

$$\dot{\gamma} = \omega[1].$$

Дослідження проведено при гармонійному змінному вхідному впливі, що має вигляд:

$$W(t) = a \sin(\omega t + \varphi),$$

де α – амплітуда синусоїди, ω – частота, φ – початкова фаза.

Змінювати параметри вхідного впливу і коефіцієнта заспокоєння будемо в таких межах:

– лінійного прискорення – $10^{-6}; 10^{-4}; 10^{-2}; 1, 0$,

– кутової швидкості – $10^{-5}; 10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-2}$,

– кутового прискорення – $10^{-4}; 10^{-3}; 10^{-2}; 1, 0$,

– частоти ω , c^{-1} – 0,001; 0,1; 1; 20; 180,

– коефіцієнта ξ – 0,1; 0,4; 0,7; 1,0.

За розробленою програмою проведемо дослідження за допомогою ЦОМ, результати яких представлено на рис. 4–20.

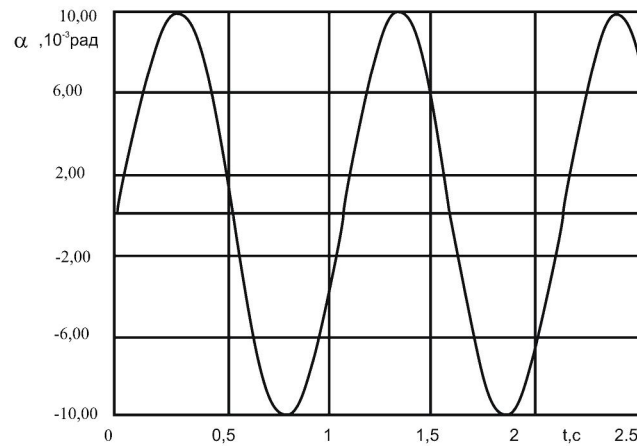


Рис. 4. Реакція ДГ на гармонійний вплив
з параметрами: $\omega = 0,5$, $Z = 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$

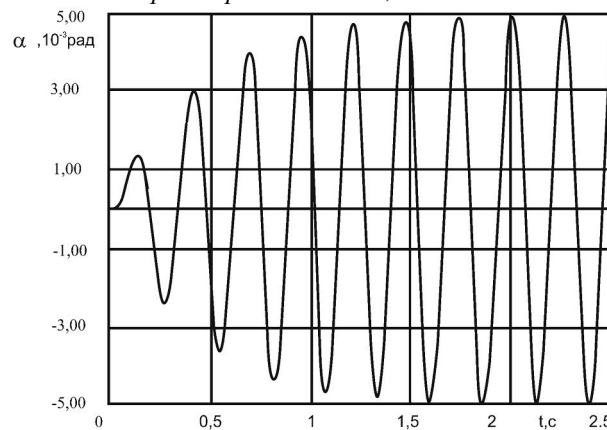


Рис. 5. Реакція ДГ на гармонійний вплив
з параметрами: $\omega = 20$, $Z = 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ при $\xi = 0,1$

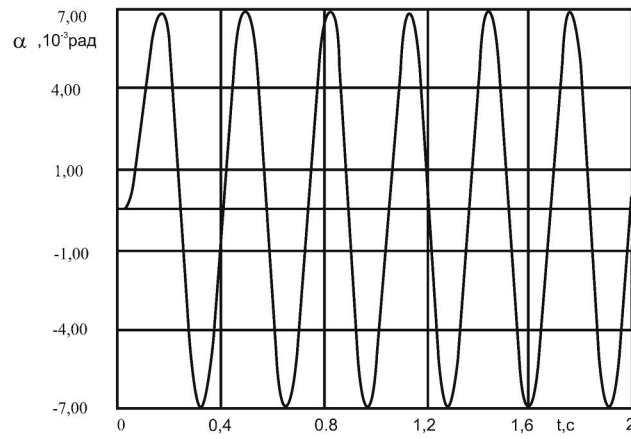


Рис. 6. Реакція ДГ на гармонійний вплив
з параметрами: $w = 20$, $Z = 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ при $\xi = 0,7$

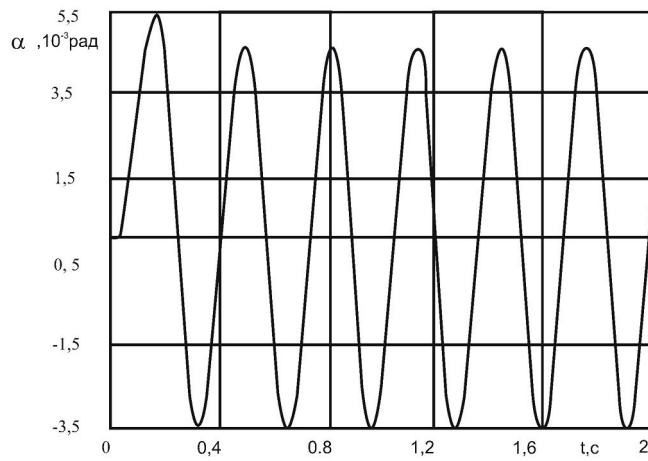


Рис. 7. Реакція ДГ на гармонійний вплив
з параметрами: $w = 20$, $Z = 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ при $\xi = 1$

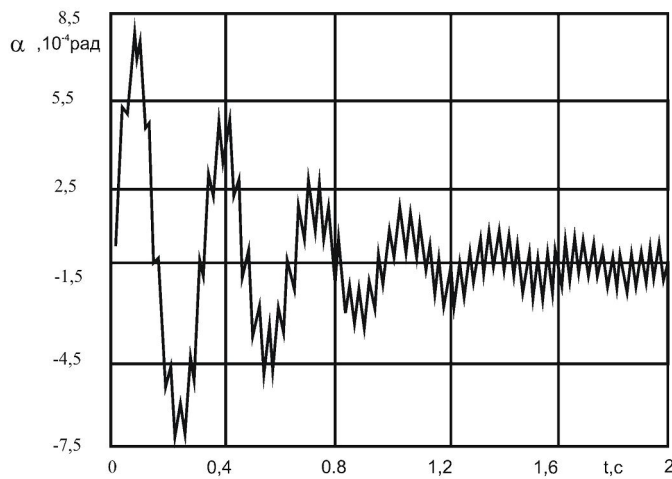


Рис. 8. Реакція ДГ на гармонійний вплив
з параметрами: $w = 180$, $Z = 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ при $\xi = 0,1$

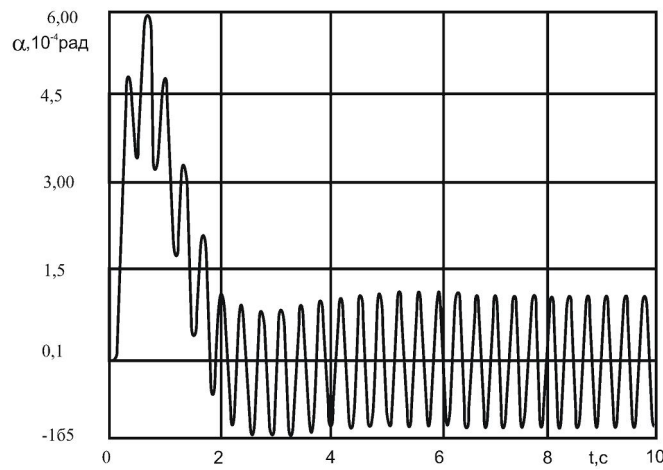


Рис. 9. Реакція ДГ на гармонійний вплив з параметрами: $\omega = 180$, $Z = 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ при $\xi = 0,7$

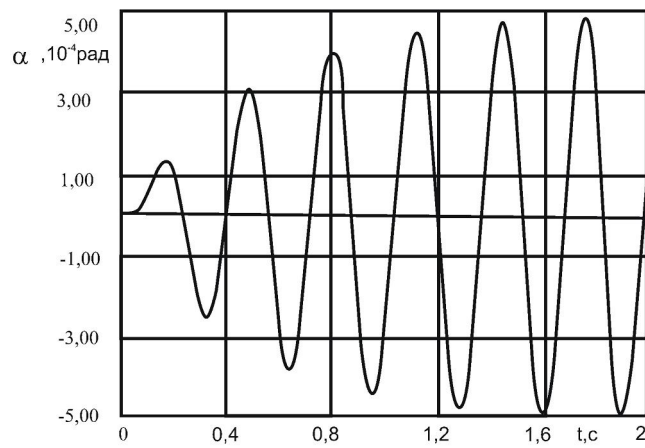


Рис. 10. Реакція ДГ на гармонійний вплив з параметрами: $\omega = 20$, $Z = 10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$ при $\xi = 0,1$

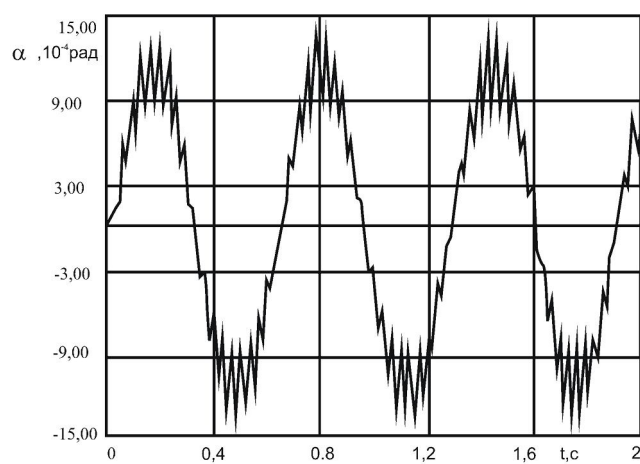


Рис. 11. Реакція ДГ на гармонійний вплив з параметрами: $\omega = 1$, $Z = 0,1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, $\Omega = 0,01 \text{ с}^{-1}$ при $\xi = 0,7$

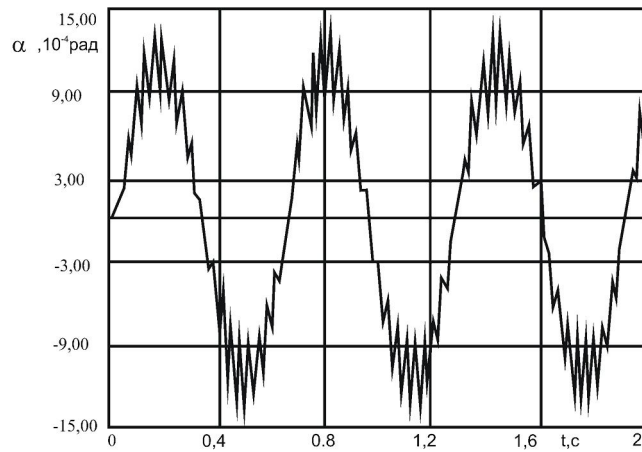


Рис. 12. Реакція ДГ на гармонійний вплив
з параметрами: $w = 1$, $Z = 10 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, $\Omega = 0,01 \text{ с}^{-1}$ при $\xi = 0,7$

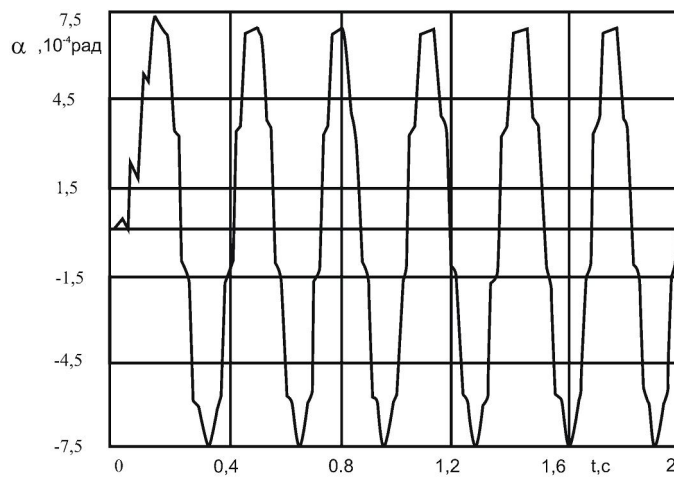


Рис. 13. Реакція ДГ на гармонійний вплив
з параметрами: $w = 20$, $Z = 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, $\Omega = 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ при $\xi = 0,7$

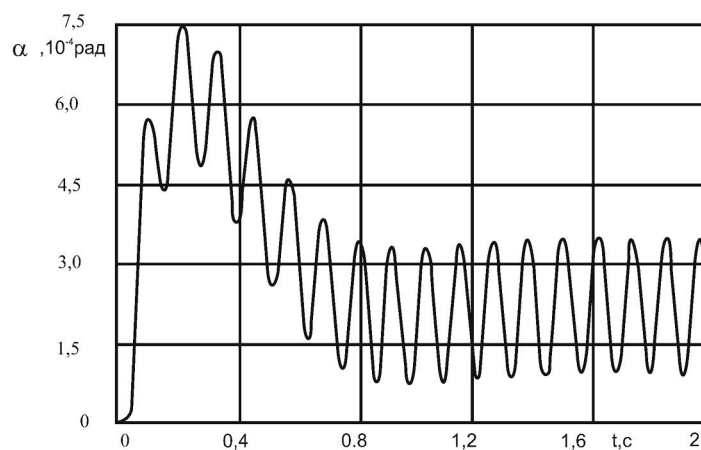


Рис. 14. Реакція ДГ на гармонійний вплив
з параметрами: $w = 180$, $Z = 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, $\Omega = 0,01 \text{ с}^{-1}$ при $\xi = 0,7$

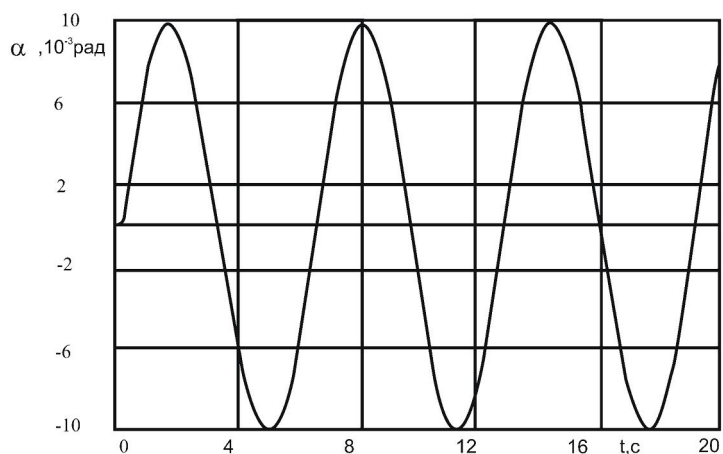


Рис. 15. Реакція ДГ на гармонійний вплив
з параметрами: $w=1,0$, $Z=1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, $X=1 \text{ м} / \text{с}^2$ при $\xi=0,7$

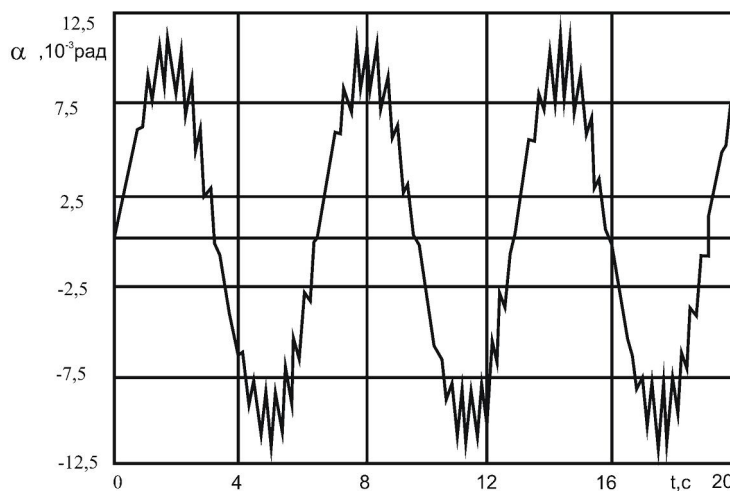


Рис. 16. Реакція ДГ на гармонійний вплив
з параметрами: $w=1,0$, $Z=1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, $X=10 \text{ м} / \text{с}^2$ при $\xi=0,7$

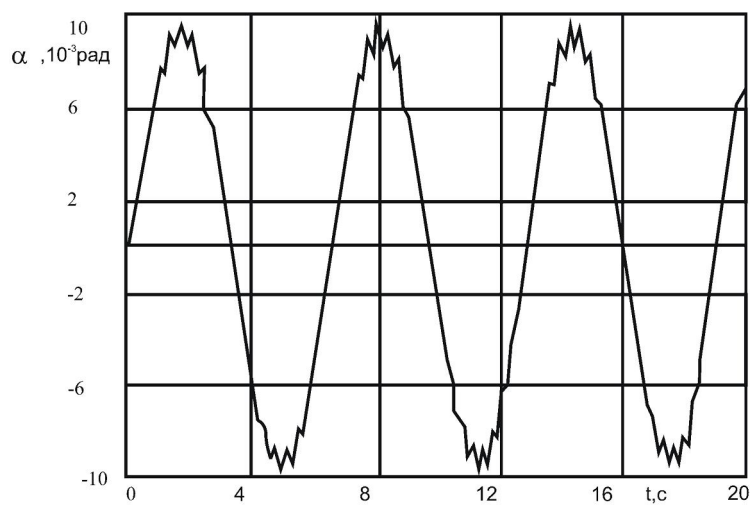


Рис. 17. Реакція ДГ на гармонійний вплив
з параметрами: $w=1$, $Z=1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, $X=10 \text{ м} / \text{с}^2$ при $\xi=0,7$

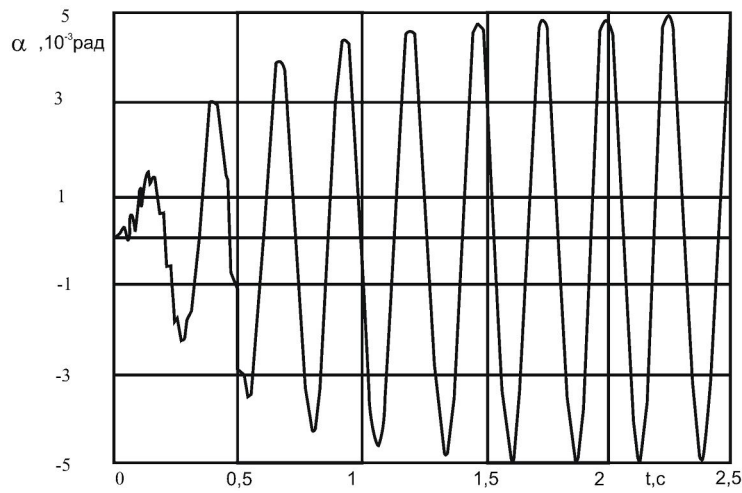


Рис. 18. Реакція ДГ на гармонійний вплив

з параметрами: $w = 20$, $Z = 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, $X = 1 \text{ м} / \text{с}^2$, $\Omega = 0,01 \text{ с}^{-1}$ при $\xi = 0,1$

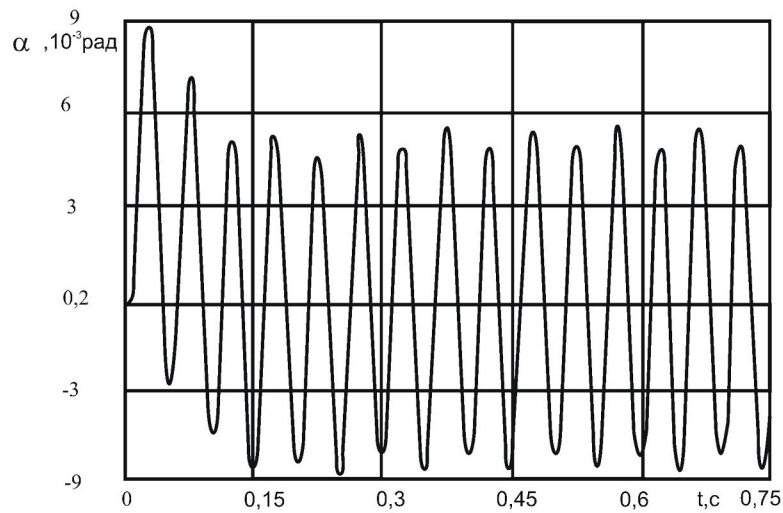


Рис. 19. Реакція ДГ на гармонійний вплив

з параметрами: $w = 180$, $Z = 1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, $X = 1 \text{ м} / \text{с}^2$, $\Omega = 0,01 \text{ с}^{-1}$ при $\xi = 0,7$

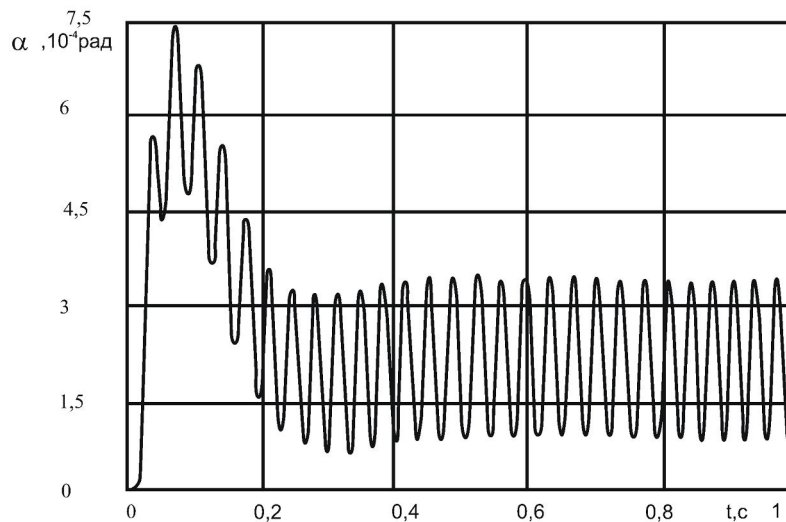


Рис. 20. Реакція ДГ на гармонійний вплив

з параметрами: $w = 300$, $Z = 0,1 \text{ м} \cdot \text{с}^{-2}$, $X = 10 \text{ м} / \text{с}^2$, $\Omega = 0,01 \text{ с}^{-1}$ при $\xi = 0,7$

Висновки. Проведені дослідження на ЦОМ поведінки нового двокільцевого динамічно настроюваного гравіметра і визначення його реакції на зовнішні впливи для різних значень власних параметрів і параметрів збурювань показали: гармонійно змінюваний корисний сигнал викликає відповідні коливання ротора, амплітуда яких пропорційно зростає зі збільшенням амплітуди вхідного впливу і зменшується зі збільшенням коефіцієнта демпфірування; на низьких частотах ($w \ll w_0$) вхідний сигнал передається майже без його зміни, змінюється лише його амплітуда залежно від w і ξ ; на частотах, близьких до частоти власних коливань w_0 і при малому ξ , спостерігається значне зростання амплітуди коливань; на частотах, близьких до частоти обертання ротора $\dot{\gamma}$ і при малих значеннях ξ виникають биття з частотою w_0 ; наявність гармонійно змінюваних зовнішніх прискорень викликає появу модульованого з частотою $\dot{\gamma}$ вихідного сигналу гравіметра, сталі коливання якого мають зсув щодо нульового положення, амплітуда їх пропорційна амплітуді вхідного впливу.

Підтверджено правильність висновків, зроблених при аналітичних дослідженнях поведінки нового двокільцевого динамічно настроюваного гравіметра. Показано, що найбільш несприятливим є випадок збігу частоти збурювання з частотою власних коливань і частотою обертання ротора. Новизна отриманих результатів підтверджується заявкою на винахід [10]. У подальшому доцільно дослідити роботу нового двокільцевого динамічно настроюваного гравіметра експериментально.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Безвесільна О.М.* Вимірювання прискорень: Підручник. – Київ: Либідь, 2001. – 264.
2. *Пельпор Д.С., Матвеев В.С., Арсентьев В.Д.* Динамически настраиваемые гироскопы: Теория и конструкция. – М. Машиностроение, 1998. – 264 с.
3. *Одинцов А.А.* Теория и расчет гироскопических приборов. – К.: Выща школа, 1985. – 392 с.
4. *Сагитов М.У.* Приборы и методы обработки гравиинерциальных измерений // Сб. статей. – М.: ИФЗ АН СССР, 1984. – 192 с.
5. *Сагитов М.У.* Гравиинерциальные исследования. – М.: Наука, 1983. – 260 с.
6. *Безвесільна О.М.* Про підвищення точності вимірювань прискорення сили тяжіння // Прикладна механіка. – 1995. – № 4. – С. 92–96.
7. *Пуцуца Л.З.* Измерения с гравиметром на самолете в США // Изв. Вузов / Геодезия и аэрофотосъемка. – № 1. – М., 1962. – С. 123–130.
8. *Чернецкий В.И., Дидук Г.А., Потапенко А.А.* Математические методы и алгоритмы исследований автоматических систем. – Л., 1970.
9. *Сольницев Р.И.* Вычислительные машины в судовой гироскопии. – Л., 1977.
10. *Безвесільна О.М., Коробійчук І.В., Нечай С.О., Подчащинський Ю.О.* Заявка на винахід № а 200505440 від 07.06.2005.

КОРОБІЙЧУК Ігор Вацлавович – аспірант кафедри автоматизованих і комп'ютерних технологій Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:
– гравіметрія.

Подано 10.01.2007